

# Модель функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами в операціях

## Functioning model of the system of supplying material resources in operations

**Вадим Телегін**

ад'юнкт, e-mail: telehin@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6896-3848

Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

**Vadim Telehin**

PhD student, e-mail: telehin@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6896-3848

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 3, 2023 | Revised: October 23, 2023 | Accepted: October 31, 2023

DOI: 10.33445/sds.2023.13.5.14

**Мета роботи:** розроблення моделі функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами шляхом визначення раціональних параметрів системи для ефективного її функціонування при виконанні завдань за призначенням в ході ведення операцій.

**Дизайн/Метод:** методи структурного аналізу та синтезу, методи оцінювання та співставлення, індукції та дедукції, а також порівняння, формалізація, абстрагування та моделювання на основі мережі Петрі.

**Результати дослідження:** проведено імітаційне моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами дозволило визначити раціональний варіант функціонування системи з набором раціональних характеристик по заданим параметрам, що забезпечує високу ефективність функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами та раціональну витрату матеріальних ресурсів.

**Теоретична цінність дослідження:** полягає у визначенні підходу до моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами з урахуванням фактору динамічності у часі і зміні параметрів і, як результат, ймовірність виконання завдань за призначенням (повне та своєчасне забезпечення матеріальними ресурсами підрозділів в зоні виконання завдань в операціях).

**Тип статті:** теоретичний.

**Purpose:** development of a model for the functioning of the material resources supply system by determining the rational parameters of the system for its effective functioning in the performance of assigned tasks in the course of operations.

**Method:** methods of structural analysis and synthesis, methods of evaluation and comparison, induction and deduction, as well as comparison, formalization, abstraction and modeling based on Petri nets.

**Findings:** the conducted simulation modeling of the functioning of the system of providing material resources made it possible to determine a rational version of the functioning of the system with a set of rational characteristics according to the given parameters, which ensures high efficiency of the functioning of the system of providing material resources and a rational consumption of material resources for its implementation.

**Theoretical implications:** consists in determining an approach to modeling the functioning of the system of providing material resources, taking into account the factor of dynamism in time and changing parameters and, as a result, the probability of completing tasks as intended (full and timely provision of material resources to units in the area of task performance in operations).

**Type of article:** theoretical.

**Ключові слова:** функціонування, модель, система забезпечення, ефективність, матеріальні ресурси, операція.

**Key words:** functioning, model, support system, logistics, material resources, operation.

### 1. Вступ

Досвід застосування Збройних Сил України (ЗСУ) у відбитті повномасштабної збройної агресії збройних сил РФ свідчить, що несвоєчасне забезпечення військових частин матеріальними ресурсами призводило до зривів у виконанні поставлених завдань або взагалі до невиконання поставленого завдання [1].

Успіх в бойових діях залежить від ефективності функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами.

Тому в роботі наведено розроблену модель функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами оперативного-тактичного угруповання військ в ході ведення оборонної операції. Для цього використано методіку на основі мереж Петрі, яка дозволяє на підставі результатів імітаційного моделювання визначити раціональні параметри системи для ефективного функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами. Показано рішення задачі визначення оптимального розподілу обмеженого ресурсу сил та засобів в обмежений час на виконання завдань системи забезпечення з максимальною ефективністю (своєчасне і повне забезпечення матеріальними ресурсами кінцевого споживача).

Розроблена імітаційна модель може використовуватись як інструмент для визначення побудови раціональної роботи системи забезпечення та її раціональних варіантів функціонування. Дозволяє визначати значення показників ефективності, вартості функціонування системи та корисний ефект забезпечення матеріальними ресурсами військ (сил) в операції. Результати вирішення даного завдання можуть надати можливість розробити організаційно-технічні заходи щодо вдосконалення функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами, ефективність якого суттєво вплине на ефективну роботу самої системи забезпечення.

## **2. Теоретичні основи дослідження**

Дослідженню питань системи забезпечення ЗСУ присвячена ціла низка робіт як вітчизняних так і зарубіжних дослідників. Так у роботі [2] визначено суть, принципи і функції військово-економічної системи забезпечення, а в роботах [3, 4] розглянуто основні принципи військової логістики, загальні питання організації логістики у військових частинах, наведено основні функції та завдання військової логістики. В науковій роботі [6] обґрунтовано ознаки та виокремлено етапи розвитку ринку логістичних послуг і охарактеризовані проблемні поля розвитку воєнної логістики, в роботі [7] запропоновано модель логістики раціонального переміщення машин та обладнання, яка ґрунтується на взаємодії засобів механізації та засобів для їх транспортування, у [8] досліджено критерії ефективності логістичного управління та запропоновано класифікацію логістичних інновацій, в роботі [9, 10] розглянуто та доповнено властивості та принципи побудови логістичних систем, наведено класифікацію логістичних систем та шляхи поліпшення складської логістики. Проведено аналіз побудови моделей управління запасами та визначені умови їх застосування, а також забезпечення матеріальне забезпечення. Деякі аспекти даної проблематики розглянуті у роботі [11]. В роботі [12-15] проведено порівняльний аналіз системи забезпечення ЗС України з системою забезпечення ЗС країн НАТО. Моделювання систем розглянуто в роботах [16-22].

Але, незважаючи на те, що значна кількість наукових досліджень уже проведена залишається невирішеним питанням щодо розроблення моделі функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами в операціях, яка би відповідала сучасним умовам ведення операцій та вимогам до системи забезпечення які базуються на стандартах НАТО.

## **3. Постановка проблеми**

Виходячи з досвіду ведення бойових дій (операцій), у функціонуванні системи забезпечення матеріальними ресурсами ЗСУ виникає низка проблемних питань [1, 2, 3], а саме: відсутня система автоматизації інформаційних та матеріальних потоків, великі фінансові витрати на закупівлю, зберігання та підвезення матеріальних ресурсів, несумісність системи забезпечення ЗС України з системою забезпечення інших військових формувань, підсистеми які входять у систему забезпечення непов'язані між собою, складність та великий об'єм інформації під час визначення потреби військ (сил) приводить до несвоєчасного їх забезпечення матеріальних ресурсів.

Про те, побудова ефективної системи забезпечення як складової логістичного забезпечення неможлива без отримання повної, достовірної, своєчасної інформації в реальному масштабі часу.

Одним із ефективних шляхів досягнення мети операції залишається раціональне застосування сил і засобів матеріального забезпечення, а також ефективне функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами.

При цьому, раціональні функціональні параметри застосування системи забезпечення матеріальними ресурсами повинні визначатись шляхом моделювання процесу забезпечення

матеріальними ресурсами військ (сил) в операціях.

Тому, питання, які пов'язані з удосконаленням методичних підходів щодо підвищення ефективності функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами є досить актуальними та потребують дослідження.

#### **4. Результати**

Ефективність забезпечення матеріальними ресурсами (далі – МР) в інтересах ОТУВ в ході ведення оборонної операції будемо оцінювати за величиною імовірності виконання комплексу робіт по забезпеченню, які виконуються за заданий час.

Серед багатьох існуючих методів опису та аналізу дискретних паралельних систем обираємо підхід, який ґрунтується на використанні мережевих моделей, запропонованих Карлом Петрі для моделювання асинхронних інформаційних потоків у системах перетворення даних, який дає змогу знизити трудомісткість проектних робіт, зменшити ймовірність помилок при плануванні заходів по забезпеченню МР військ (сил), підвищити ефективність прийняття раціональних рішень за рахунок оперативного аналізу варіантів проектних рішень [23-26].

Будь-який алгоритм може бути перетворений на мережу Петрі і навпаки.

Застосуванні мережі Петрі (далі – МП) дає змогу у вирішенні таких завдань, як:

- моделювання безлічі взаємозалежних та паралельних процесів;
- розробка паралельних графічних об'єктно-орієнтованих засобів програмування;
- розробка програмного забезпечення центрів дистанційного керування та контролю.

Тобто мережі Петрі застосовуються для опису та дослідження динамічних систем.

Використовуючи програмне забезпечення середовища NetBeans 6.9.1 та мову програмування *java* [27] розробляємо програму, яка має архітектуру основних алгоритми та структуру даних (файлів).

Програма включає такі класи:

*PetriNetView.java* – клас, що реалізує інтерфейс програми.

*Vertex.java* - клас, який описує унікальні властивості вершини, як вузла мережі Петрі.

*Transition.java* – клас, що містить розміри переходу, а також метод, що відображає перехід в області побудови мережі.

*Position.java* – клас, що містить розміри позиції, а також метод, що відображає перехід в області побудови мережі.

*Edge.java* – клас, що містить інформацію про ребро графа мережі Петрі (до яких вершин ребро прилягає, координати ребра та додаткові точки).

*XmlIO.java* – клас, що містить методи для збереження та завантаження мережі Петрі

*LabelVertex.java* – клас, що містить інформацію про назву вершини.

*PanelPointPetri.java* - клас, що відображає додаткові точки ребер графа.

*PanelPetri.java* – клас, що реалізує основні функції створення та редагування мережі Петрі. Він відображає мережу Петрі в області побудови та містить дані про всі вершини та ребра графа.

Використаємо графічний редактор МП для моделювання асинхронних систем, що функціонують як сукупність паралельних взаємодіючих процесів. Аналіз МП дозволяє отримати інформацію про структуру та динамічну поведінку модельованої системи.

Причинно-наслідковий зв'язок подій в асинхронних системах задається множиною відношень вигляду "умови-події". У МП умови – це позиції (P), а події – переходи (T) (рис. 1). Відповідно до цього граф МП є двочастковим орієнтованим мультиграфом. Орієнтовані дуги можуть сполучати лише позиції і переходи в прямому і зворотному напрямі. МП є мультиграфом, оскільки допускається кратність дуг між позиціями і переходами.

В графах МП кількісні характеристики умов (числа натурального ряду) прийнято

задавати числом міток у відповідних позиціях.

Послідовності подій відображаються спрацьовуваннями переходів. Виконання якої-небудь умови пов'язане з появою однієї або декількох міток у відповідній цій умові позиції. Угоди про правила спрацьовування переходів є способом представлення причинно-наслідкових зв'язків між умовами і подіями в системі. [23-28].

Структура мережі Петрі представляє собою сукупність позицій і переходів. У відповідності до цього граф мережі Петрі має два типи вузлів:

- - позиція (кружок);
- - перехід (планка).

Орієнтовані дуги (стрілки) з'єднують позиції і переходи, при цьому деякі дуги направлені від позиції до переходів, а інші від переходів до позицій. Дуга, що направлена від позиції  $p_i$  до переходу  $t_j$  визначає позицію, яка є входом переходу. Кратні входи в перехід вказуються кратними дугами із вхідних позицій в перехід. Вихідна позиція вказується дугою від переходу до позиції. Кратні виходи також представлені кратними дугами.

Мережа Петрі є мультиграф, так як він допускає існування кратних дуг від одної вершини до іншої. Слід додати, що так як дуги є направлені, то це орієнтований мультиграф. Ми знаємо, що вершини графу можна розділити на дві множини (позиції і переходи) таким чином, що кожна дуга буде направлена від елемента однієї множини (позицій або переходів) до елемента другої множини (позицій або переходів). Відповідно, такий граф  $G$  є двочастковим орієнтованим мультиграфом, який можна описати за допомогою виразу:

$$G = (V, A) \tag{2}$$

де  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_s\}$  – множина вершин;

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$  – комплект направлених дуг,  $a_i = (v_j, v_k)$ , де  $v_j, v_k \in V$ .

Множина  $V$  може бути розбита на дві підмножини  $P$  і  $T$ , що не перетинаються, таких що  $V = P \cup T$ ,  $P \cap T = \emptyset$  і для будь якої направленої дуги  $a_i \in A$ , якщо  $a_i = (v_j, v_k)$ , тоді або  $v_j \in P$  і  $v_k \in T$ , або  $v_j \in T$ , а  $v_k \in P$ .

Таким чином моделювання стохастичної мережі Петрі для динамічного управління розподілу матеріальних ресурсів прийме вигляд (рис. 1.):

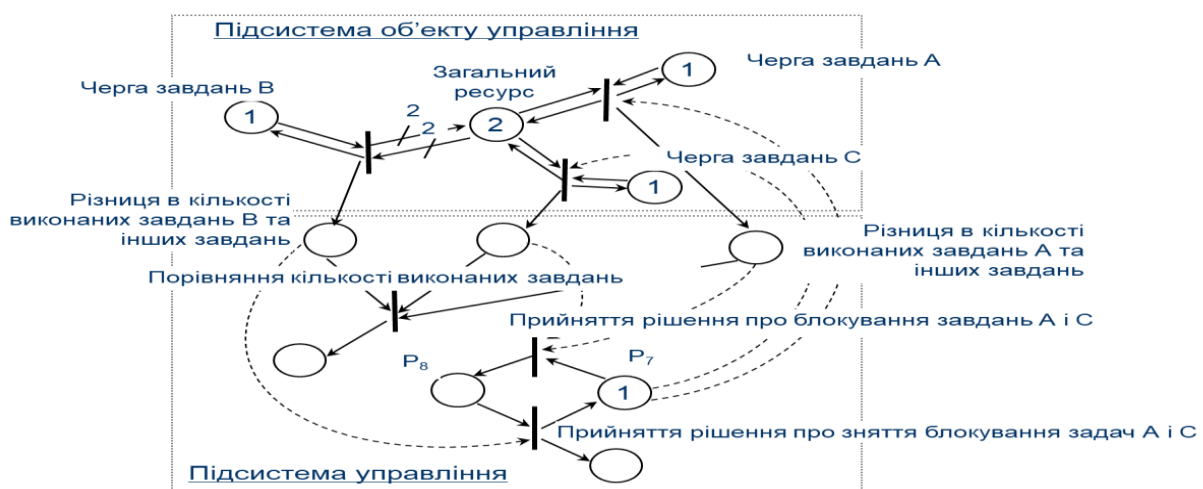


Рисунок 1 – Моделювання стохастичної мережі Петрі для динамічного розподілу матеріальних ресурсів

Проведене в роботі імітаційне моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами на основі мереж Петрі дозволило на підставі результатів визначити раціональні параметри системи для ефективного функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами.

Шляхом проведення імітаційного моделювання функціонування системи забезпечення в програмному середовищі *java* [27] перевіряє адекватність функціональної моделі системи забезпечення за допомогою яких в розробленій імітаційній моделі реалізуються зв'язки між підсистемою управління та складовими системи забезпечення. Оскільки програмне забезпечення NetBeans 6.9.1 є сертифікованим програмним продуктом для моделювання та використовує в собі відомий математичний апарат у вигляді теорії мереж Петрі, то результати імітаційного моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами вважаються достовірними, а реалізовані в розробленій імітаційній моделі удосконалена методика оцінювання ефективності та функціональна модель системи – адекватними.

Мережа Петрі складається з чотирьох елементів: множини позицій  $P$ , множини переходів  $T$ , вхідна функція  $I$  і вихідна функція  $O$ . Вхідна і вихідна функція пов'язані з позиціями і переходами. Вхідна функція  $I$  відображає перехід  $t_j$  у множину позицій  $I(t_j)$ , що називаються вхідними позиціями переходу. Вихідна функція  $O$  відображає перехід  $t_j$  у множину позицій  $O(t_j)$ , що називаються вихідними позиціями переходу.

Структура мережі Петрі  $C$  визначається її позиціями, переходами, вхідною та вихідною функціями. Її можна представити виразом:

$$C = (P, T, I, O)$$

- де  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – скінченна множина позицій,  $n \geq 0$ ;  
 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  – скінченна множина переходів,  $m \geq 0$ ;  
множина позицій і множина переходів не перетинаються,  
 $P \cap T = \emptyset$ ;  
 $I: T \rightarrow P^\infty$  – вхідна функція – відображення із переходів в комплекти позицій;  
 $O: T \rightarrow P^\infty$  – вихідна функція – відображення із переходів в комплекти позицій.

Потужністю множини  $P$  є число  $n$ , а потужністю множини  $T$  є число  $m$ . Довільний елемент  $P$  позначається символом  $p_i$ ,  $i=1, \dots, n$ , а довільний елемент  $T$  – символом  $t_j$ ,  $j=1, \dots, m$ .

Позиція  $p_i$  є вхідною позицією переходу  $t_j$  у тому випадку, якщо  $p_i \in I(t_j)$  і вихідною позицією, якщо  $p_i \in O(t_j)$ . Входи і виходи переходів являють собою комплекти позицій. Комплект являє собою узагальнення множини, в яку включені елементи, які багатократно повторюються – елементи, що тиражуються.

Використання комплектів, а не множин для входів і виходів переходу дозволяє позиції бути кратним входом або кратним виходом переходу. Кратність вхідної позиції  $p_i$  для переходу  $t_j$  є число появ позиції у вхідному комплекті переходу  $\#(p_i, I(t_j))$ . Аналогічно кратність вихідної позиції  $p_i$  для переходу  $t_j$  є число появ позиції у вихідному комплекті переходу  $\#(p_i, O(t_j))$ . Якщо вхідна і вихідна функції є множинами, а не комплектами, то кратність кожної позиції є або 0, або 1.

В значній мірі теоретична робота по мережам Петрі основана на формальному визначенні мереж Петрі, що викладено вище. Проте, разом з тим, для ілюстрації понять теорії мереж Петрі найбільш зручніше графічне представлення мережі Петрі. Теоретико-графовим представленням мережі Петрі є двочастковий орієнтований мультиграф.

Нехай деякий перехід в маркуванні  $\mu$  дозволений і, відповідно, може бути запущеним. Результат запуску переходу в маркуванні  $\mu$  є новим маркуванням  $\mu'$ . Кажуть, що  $\mu'$  є безпосередньо досяжна з маркування  $\mu$ , іншими словами, стан  $\mu'$  безпосередньо отримується зі стану  $\mu$ .

Для мережі Петрі  $S$  з маркуванням  $\mu$  маркування  $\mu'$  називається безпосередньо досяжним з  $\mu$ , якщо існує перехід  $t_j \in T$ , такий, що  $\delta(\mu, t_j) = \mu'$ .

Мережі Петрі були розроблені та використовуються в основному для моделювання. За допомогою них можуть бути промодельовані різні системи, особливо системи з незалежними компонентами, наприклад апаратне та програмне забезпечення ПЕОМ, фізичні системи, соціальні тощо. Мережі Петрі застосовуються для моделювання виникнення різноманітних подій в системі. Зокрема, мережі Петрі можуть моделювати потік інформації або інші ресурси системи.

На підставі викладеного вище, для розроблення імітаційної моделі функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами запропоновано використання теорії мереж Петрі.

Просте представлення системи мережею Петрі засновано на двох основоположних поняттях: подіях та умовах. Подія – це дія, що має місце в системі. Виникненням подій управляє стан системи. Стан системи може бути описаний множиною умов. Умова – це предикат або логічний опис стану системи. Умова може приймати або значення “істина”, або значення “хиба”.

Так як події є діями, то вони можуть відбуватися. Для того щоб подія відбулась, необхідне виконання відповідних умов. Ці умови називаються передумовами події. Виникнення події може викликати порушення передумов та може призвести до виконання інших умов, поступов.

При моделюванні функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами в представленій мережі Петрі умови моделюються позиціями, події – переходами. При цьому входи переходу є передумовами відповідної події, а виходи – поступовами. Виникнення події рівносильно запуску відповідного переходу. Виконання умови представляється фішкою в позиції, що відповідає цій умові. Запуск переходу видаляє дозвільні фішки, що характеризують виконання передумов та утворює нові фішки, що характеризують виконання поступов.

Для формалізації опису функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами мережею Петрі представимо зазначену систему наступним чином: система складається з трьох підсистем  $M_1, M_2, M_3$  які відповідають за виконання робіт з по забезпеченню МР військ (сил) різного рівня складності та підсистеми управління  $F$  яка впливає на підсистеми  $M_1, M_2, M_3$  та формує заявки на поповнення потреб у МР в залежності від зовнішніх сигналів  $S$ , що надходять до підсистеми  $F$ . Заявки на поповнення МР обробляються підсистемою  $F$  та в залежності від складності робіт, які необхідно провести, надсилаються відповідно в підсистеми  $M_1, M_2$  або  $M_3$ . Зазначена система буде мати наступну множину умов:

- a) зовнішній сигнал  $S$  надійшов до підсистеми  $F$  та чекає на обробку;
- b) сигнал оброблений підсистемою  $F$ , відправлена заявка на забезпечення МР підсистемам  $M_1, M_2$  або  $M_3$ ;
- c) заявки виконані;
- d) підсистема  $M_1$  очікує на заявку;
- e) підсистема  $M_2$  очікує на заявку;
- f) підсистема  $M_3$  очікує на заявку;
- g) підсистема  $F$  очікує сигнал  $S$ ;
- h) сигнал  $S$  формується;
- i) підсистема  $M_1$  знаходиться під впливом підсистеми  $F$ ;
- j) підсистема  $M_2$  знаходиться під впливом підсистеми  $F$ ;

к) підсистема  $M_3$  знаходиться під впливом підсистеми  $F$ ;

л) підсистема  $F$  знаходиться під впливом сигналу  $S$ .

При цьому множина подій буде наступною:

1. Надходження сигналу  $S$ ;
2. Підсистема  $F$  починає обробку заявки для підсистеми  $M_1$ ;
3. Підсистема  $M_1$  завершила виконання заявки;
4. Підсистема  $F$  починає обробку заявки для підсистеми  $M_2$ ;
5. Підсистема  $M_2$  завершила виконання заявки;
6. Підсистема  $F$  починає обробку заявки для підсистеми  $M_3$ ;
7. Підсистема  $M_3$  завершила виконання заявки;
8. Підсистеми  $M_1, M_2, M_3$  звітують про виконання заявок в підсистему  $F$ ;
9. Підсистема  $F$  обробляє звіти від підсистем  $M_1, M_2, M_3$ ;
10. Приймається рішення щодо виконання системою сигналу  $S$ , формуються узагальнені дані за результатами роботи підсистем  $M_1, M_2, M_3$ .

Перед- та постумови кожної події в представленій мережі Петрі для моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами викладені в табл. 1.

**Таблиця 1 – Перед- та постумови імітаційної моделі**

Події	Передумови	Постумови
1	немає	a
2	a, g, d	i
3	i	g, d, b
4	a, h, g	j
5	j	b, h, g
6	b, g, e	k
7	k	c, g, e
8	b, f, h	l
9	l	c, f, h
10	c	немає

Виконання запропонованої мережі Петрі для моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами (або поведінка системи, що моделюється) розглядається як послідовність дискретних подій. Порядок виникнення подій є одним з можливих, що допускається основною структурою мережі Петрі побудованої для моделювання. Це призводить до очевидної не детермінованості у виконанні мережі Петрі. Якщо в будь який момент часу дозволено більше одного переходу, то будь який з декількох можливих переходів може стати "наступним" що запуститься. Вибір переходу, що запускатиметься здійснюється недетермінованим чином, тобто випадково. Ця особливість мережі Петрі відображає той факт, що при функціонуванні системи, що моделюється, в реальному житті, де декілька дій відбувається одночасно, порядок виникнення подій – не однозначний, скоріше може виникнути будь яка з множин послідовностей подій. Проте частковий порядок виникнення подій – єдиний.

Часові мережі Петрі використовують поняття модельного часу для опису тривалості дій у реальних об'єктах. На відміну від класичних мереж Петрі, де спрацювання переходу відбувається миттєво, в часовій мережі спрацювання переходу пов'язано з певною тривалістю або часовою затримкою. Це дозволяє аналізувати часові характеристики реальних об'єктів, наприклад, час на виконання задачі по забезпеченню матеріальними ресурсами підрозділів в районі виконання завдань або інтервали між проведенням заходів по забезпеченню МР, як характеристику функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами.

Для моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами використовувалось три варіанти системи: існуючої системи, система забезпечення матеріальними ресурсами НАТО, та пропонуєма система забезпечення матеріальними ресурсами з автоматизованою системою управління з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. Порівняння результатів імітаційного моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами проводилось з урахуванням показників ефективності, які представлені в удосконаленій методиці оцінювання ефективності управління системою забезпечення матеріальними ресурсами в операціях.

Імітаційне моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами проводилось з метою визначення раціональної системи забезпечення матеріальними ресурсами, раціональних варіантів її функціонування за отриманими фактичними значеннями показників ефективності.

Імітаційна модель функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами, яка була розроблена для проведення імітаційного моделювання може в подальшому використовуватись як інструмент для побудови та аналізу функціонування перспективних систем забезпечення матеріальними ресурсами з різними параметрами та рівня ієрархії.

Використана в імітаційній моделі удосконалена методика оцінювання ефективності управління системи забезпечення матеріальними ресурсами дозволила оцінити ефективність промодельованих варіантів системи та отримати відповідні результати. Разом з тим, імітаційна модель функціонування існуючої системи забезпечення матеріальними ресурсами, яка на сьогоднішній день функціонує в ЗС України, структурно дещо відрізняється від імітаційної моделі запропонованої системи. Тому при моделюванні функціонування існуючої системи не використовувалась запропонована в роботі функціональна модель системи забезпечення матеріальними ресурсами. Для опису структури існуючої системи забезпечення матеріальними ресурсами в імітаційній моделі використовувались фактичні дані про структуру, склад і можливості існуючої системи забезпечення матеріальними ресурсами.

Дослідження виконано для умов оборонної операції оперативно-тактичного угруповання військ під час стабілізації обстановки, припинення збройних зіткнень. Структура оперативно-тактичного угруповання відповідає структурі угруповання військ, яке може створити ОК "Південь". Фізико-географічні умови – середньостатистичні для обраного оперативного району. Виконання завдань системою забезпечення матеріальними ресурсами відбувається під час ведення оборонної операції оперативно-тактичного угруповання військ.

Органи військового управління оперативно-тактичного угруповання укомплектовані на 95 %: підрозділи на 80 %.

Вхідні дані для проведення моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами наведені в таблиці 2.

Результати імітаційного моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами оцінювались за трьома варіантами системи що моделювалась.

Результати моделювання першого варіанту (існуючої системи забезпечення матеріальними ресурсами) оцінювались за основними показниками що отримані з використанням удосконаленої методики оцінювання ефективності. Для високої достовірності отриманих результатів імітаційне моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами проводилось з використанням модельного часу еквівалентному інтервалам між проведенням забезпечення матеріальними ресурсами.

**Таблиця 2 – Вхідні данні для моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами**

№ варіанту	Уомпл. о/с / (ОВУ), %	Навч. о/с / (ОВУ), %	Наявн.АСУ (СПЗ), %	Спроможн., %	Ресурсне забезп., %	Укомпл. мат. рес %	Своєча-сність заб %	Повнота заб., %	Коеф.Готовн., %	Управл., %
1 – існуюча система заб.	70/85	60/80	-	60	70	60	70	70	80	80
2 – сист. заб. за стандарт. НАТО	95	95	100	95	100	100	95	95	98	95
3 – пропонуєма сист.заб.	70/85	60/85	100	70	70	60	85	85	90	90

В табл. 3 відображені результати імітаційного моделювання функціонування існуючої системи забезпечення матеріальними ресурсами.

**Таблиця 3 – Результати моделювання першого варіанту існуючої системи забезпечення матеріальними ресурсами**

№ циклу	Імовірність вірного висновку (якість планування), Q(я)	Імовірність безвідмовної роботи (живучість), P(ж)	Імовірність своєчасного забезпечення (оперативність), T(ц.у.)	Коефіцієнт ефективності управління, $K_{\text{ефу}}$	Коефіцієнт економічної ефективності, $K_{\text{е}}$
1	0,731	0,759	0,623	0,742	0,658
2	0,724	0,751	0,619	0,740	0,668
3	0,725	0,749	0,614	0,747	0,661
4	0,727	0,753	0,620	0,742	0,665
5	0,733	0,747	0,623	0,751	0,659
6	0,731	0,750	0,621	0,749	0,668
7	0,727	0,752	0,618	0,741	0,665
8	0,723	0,750	0,615	0,744	0,660
9	0,721	0,757	0,615	0,741	0,669
10	0,730	0,753	0,622	0,749	0,660

Зазначені в таблиці 3 результати імітаційного моделювання отримані за 10 циклів проведення забезпечення матеріальними ресурсами. Тобто моделювалось забезпечення матеріальними ресурсами 10 військових частин з різною кількістю МР відповідно класів постачання, різним складом сил і засобів логістичного забезпечення.

Результати моделювання другого варіанту (системи забезпечення матеріальними ресурсами за стандартами НАТО) оцінювались за основними показниками що отримані з використанням удосконаленої методики оцінювання ефективності управління системою забезпечення матеріальними ресурсами. Структура системи, що моделювалась, була побудована з використанням організаційно-штатної структури системи забезпечення матеріальними ресурсами збройних сил провідних країн членів НАТО.

В таблиці 4 відображені результати імітаційного моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами за стандартами НАТО.

Моделювання включало в себе наявність системи забезпечення матеріальними ресурсами автоматизованої системи управління SAP/LOGFAS.

**Таблиця 4 – Результати моделювання другого варіанту системи забезпечення матеріальними ресурсами за стандартами НАТО**

№ циклу	Імовірність вірного висновку (якість планування), Q(я)	Імовірність безвідмовної роботи (живучість), P(ж)	Імовірність своєчасного забезпечення (оперативність), T(ц.у.)	Коефіцієнт ефективності управління, $K_{\text{еф}}$	Коефіцієнт економічної ефективності, $K_{\text{е}}$
1	0,988	0,975	0,982	0,994	0,985
2	0,981	0,986	0,987	0,992	0,980
3	0,978	0,981	0,992	0,988	0,989
4	0,985	0,979	0,990	0,989	0,991
5	0,980	0,975	0,985	0,990	0,989
6	0,985	0,984	0,989	0,991	0,990
7	0,986	0,974	0,993	0,992	0,989
8	0,979	0,980	0,988	0,988	0,986
9	0,988	0,982	0,991	0,990	0,990
10	0,989	0,979	0,990	0,992	0,989

Результати моделювання третього варіанту системи (пропонуєма система забезпечення матеріальними ресурсами з автоматизованою системою управління з використанням спеціалізованого програмного забезпечення) оцінювались за основними показниками що отримані з використанням удосконаленої методики оцінювання ефективності. В таблиці 5 відображені результати імітаційного моделювання функціонування пропонуємої системи забезпечення матеріальними ресурсами.

**Таблиця 5 – Результати моделювання третього варіанту пропонуємої системи забезпечення матеріальними ресурсами з автоматизованою системою управління з використанням спеціалізованого програмного забезпечення**

№ циклу	Імовірність вірного висновку (якість планування), Q(я)	Імовірність безвідмовної роботи (живучість), P(ж)	Імовірність своєчасного забезпечення (оперативність), T(ц.у.)	Коефіцієнт ефективності управління, $K_{\text{еф}}$	Коефіцієнт економічної ефективності, $K_{\text{е}}$
1	0,855	0,852	0,860	0,860	0,888
2	0,859	0,859	0,864	0,851	0,894
3	0,864	0,864	0,871	0,851	0,896
4	0,860	0,859	0,859	0,862	0,990
5	0,851	0,850	0,866	0,854	0,890
6	0,859	0,847	0,861	0,850	0,887
7	0,866	0,864	0,870	0,861	0,891
8	0,864	0,866	0,859	0,847	0,894
9	0,964	0,951	0,963	0,950	0,889
10	0,959	0,958	0,960	0,961	0,976

Також при моделюванні враховувався параметр імовірності виходу з ладу (ризика) сил і засобів логістичного забезпечення під впливом противника.

Разом з тим під час проведення імітаційного моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами за різними варіантами також оцінювалась економічна ефективність промодельованих варіантів системи. Результати оцінки економічної ефективності показані на рис. 2.

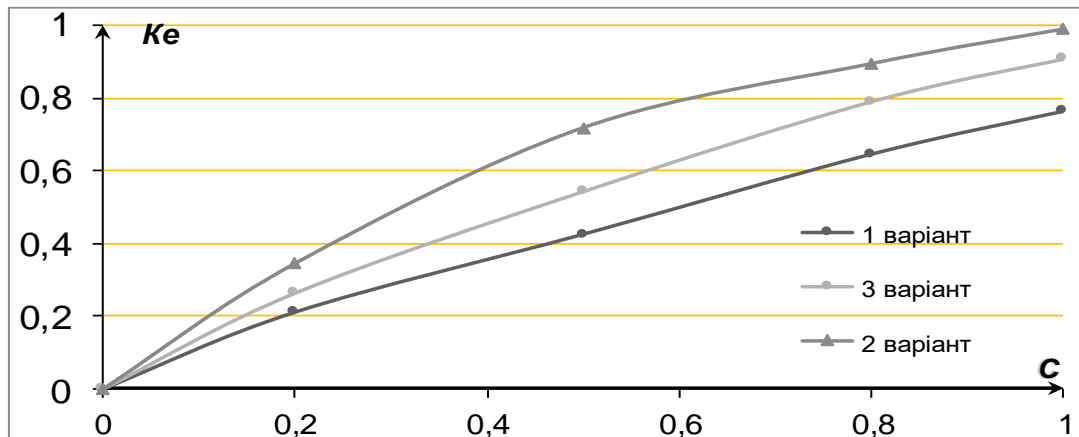


Рисунок 2 – Залежність економічної ефективності від частки витрат на забезпечення матеріальними ресурсами

З проведеної оцінки результатів імітаційного моделювання системи забезпечення матеріальними ресурсами видно, що існуюча система значно поступається за показниками ефективності системі забезпечення матеріальними ресурсами за стандартами НАТО та запропонованому в роботі варіанту побудови системи забезпечення матеріальними ресурсами. Система забезпечення матеріальними ресурсами за стандартами НАТО – найефективніша, але і дорого вартісна, потребує значних капіталовложень на створення та підтримання. Раціональний варіант функціонування системи за отриманими показниками – варіант № 3. При здійсненні забезпечення МР показники ефективності системи забезпечення матеріальними ресурсами незначно нижчі від показників системи забезпечення матеріальними ресурсами за стандартами НАТО, але значно вищі за показники існуючої системи забезпечення матеріальними ресурсами.

## 5. Висновки

У статті було розглянуто тему моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами в операціях. Засновуючись на аналізі літературних джерел та практичних досліджень, можна зробити наступні висновки та визначити перспективи подальших досліджень:

вперше розроблено імітаційну модель функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами, яка дозволяє проводити імітаційне моделювання функціонування системи з різними параметрами та структурою. Розроблена імітаційна модель дозволяє моделювати процеси функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами використовуючи модельний час, який може бути еквівалентним необхідному проміжку реального часу.

мережі Петрі реалізовані в програмному середовищі NetBeans 6.9.1 та мову програмування *java* дозволяють використовувати переходи мережі Петрі, як окрему мережу Петрі. Тобто інструментарій програмного забезпечення NetBeans 6.9.1 дозволяє використовувати розроблену імітаційну модель як інструмент для моделювання NetBeans 6.9.1 з будь-яким набором параметрів та поведінкою системи в залежності від порядку виконання своїх функцій системою та впливу на її складові зовнішніх та внутрішніх факторів.

розроблена імітаційна модель функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами може використовуватись для моделювання подібних за структурою систем забезпечення.

розроблена імітаційна модель може використовуватись як інструмент для визначення побудови раціональної роботи системи забезпечення та її раціональних варіантів функціонування. Дозволяє визначати значення показників ефективності, вартості функціонування системи та корисний ефект забезпечення матеріальними ресурсами військ (сил) в операції.

проведене імітаційне моделювання функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами дозволило визначити раціональний варіант функціонування системи з набором раціональних характеристик, що забезпечує високу ефективність проведення забезпечення МР військ (сил) та раціональну витрату матеріальних ресурсів для сил і засобів логістичного забезпечення (завантаження, транспортування, розвантаження тощо).

впровадження підсистеми автоматизованого управління системою забезпечення матеріальними ресурсами забезпечить можливість оброблення інформації в режимі реального масштабу часу, що дозволить динамічній системі забезпечення своєчасно реагувати на потреби військ (сил) в оптимальні терміни. Дана підсистема надасть можливість скоротити час на визначення: місць знаходження матеріальних ресурсів, оптимального маршруту підвезення, об'єму матеріальних ресурсів, автоматизувати їх облік, тощо.

Подальші дослідження за тематикою статті можуть спрямовуватися на вдосконалення методів та стратегій розвитку системи забезпечення матеріальними ресурсами, а також обґрунтувати рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування системи забезпечення матеріальними ресурсами, враховуючи розвиток технологій та змінювані умови бойових дій. Також важливо продовжувати застосовувати досвід та стандарти провідних країн членів НАТО в умовах сучасних воєнних конфліктів.

## **6. Фінансування**

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

## **7. Конкуруючі інтереси**

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

### **Список використаних джерел**

- |  |  |
|--|--|
| 1. Досвід російсько-української війни. Збірник № 6-8. 2023.  | 1. Experience of the Russian-Ukrainian war. Collection No. 6-8. 2023.  |
| 2. Маслій О.М. Суть, принципи та функції військово-економічної логістики. Вісник Національної академії Державної прикордонної служби України, 2010. Вип. 2. С. 31-45.                                    | 2. Maslii O.M. (2010). The essence, principles and functions of military-economic logistics. <i>Bulletin of the National Academy of the State Border Service of Ukraine</i> , 2010. Issue 2. P. 31-45.         |
| 3. Нестеренко О. М., Чирва Ю. Є. (2016). Основні принципи та особливості організації логістики у військових частинах Національної гвардії України. <i>Young Scientist</i> , 2016. №5 (32). – С. 119–122. | 3. Nesterenko O.M., Chirva Yu.E. (2016). Basic principles and features of logistics organization in military units of the National Guard of Ukraine. <i>Young Scientist</i> , 2016. No. 5 (32). – pp. 119–122. |
| 4. Щербина В. В. Теоретичні аспекти реінжинірингу бізнес-процесів транспортно-логістичних компаній. Розвиток методів управління та   | 4. Shcherbina V.V. (2015). Theoretical aspects of reengineering business processes of transport and logistics companies. <i>Development of transport management</i>  |

### **References**

- господарювання на транспорті, 2015. Вип. 4 (53). – С. 19–35.
5. Шандрівська О.Є., Костюк О.С., Наконечна Т.В. Ідентифікація етапів розвитку логістичних послуг в Україні. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Логістика, 2015. № 833. – С. 118–124.
6. Шатов С.В., Улітіна М.Ю. Логістика переміщення засобів механізації під час розбирання руйнувань будівельних об'єктів. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2016. №12 (225). – С. 20–25.
7. Гришко В. В. Ржепішевська В. В. Інноваційний характер управління якістю в логістичних системах. Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту. Економічні науки, 2016. Вип. 1. С. 103–112.
8. Метеленко Н. Г. Тарабан К. С. Логістична система підприємства машинобудівної галуззі у логістичному менеджменті. Финансы, учет, банки, 2014. Вып. 1. С. 196–202.
9. Рибидайло А. А., Тарабан. Аналіз шляхів поліпшення складської логістики воєнного відомства. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, 2016. –№ 1. С. 63–68.
10. Колодізева, Т.О. Управління ланцюгами поставок: навчальний посібник Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016. 164 с.
11. Нагорнічевський О. Державне управління реформуванням системи тилового забезпечення Збройних Сил України в контексті досвіду країн НАТО. Державне управління та місцеве самоврядування, 2015. Вип. 2 (25). С. 191–199.
12. Allied Joint Doctrine for Logistics. Eddition B Version 1, 2018.
13. Joint Logistics February. Incorporating change, 2019.
14. NATO Principles and Policies for Logistics, and management methods, 2015. Vol. 4 (53). – P. 19–35.
5. Shandrivska O.E., Kostyuk O.S., Nakonechna T.V. (2015). Identification of stages of development of logistics services in Ukraine. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Logistics*, 2015. No. 833. – P. 118–124.
6. Shatov S.V., Ulitina M.Yu. (2016). Logistics of the movement of mechanized means during the dismantling of the destruction of construction objects. *Bulletin of the Dnipro State Academy of Construction and Architecture*, 2016. No. 12 (225). – pp. 20–25.
7. Hryshko V.V. Rzhepishevskaya V.V. (2016). Innovative nature of quality management in logistics systems. *Bulletin of the Chernivtsi Trade and Economic Institute. Economic Sciences*, 2016. Vol. 1. P. 103–112.
8. Metelenko N.G. Taraban K.S. (2014). Logistics system of the machine-building industry in logistics management. *Finances, accounting, banks*, 2014. Issue 1. P. 196–202.
9. Rybydailo A.A., Taraban. Analysis of ways to improve warehouse logistics of the military department. Collection of scientific works of the Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, 2016. No. 1. P. 63–68.
10. Kolodizeva, T. O. Management of supply chains: a study guide Kharkiv: KHNEU named after S. Kuznetsa, 2016. 164 p.
11. Nagornichevskiy O. State management of the reform of the rear support system of the Armed Forces of Ukraine in the context of the experience of NATO countries. *State administration and local self-government*, 2015. Vol. 2 (25). P. 191–199.
12. Allied Joint Doctrine for Logistics. Edition B Version 1, 2018.
13. Joint Logistics February. Incorporating change, 2019.
14. NATO Principles and Policies for Logistics,

- 2016.
15. Голобородько М.Ю. Білетов В.І., Галаган В.І., Панадій К.В., Бондарчук С.В. Формалізована модель матеріального забезпечення військ (сил). Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, 2014. № 1 (50). С. 48–53.
16. Ramírez Ríos, D. Ramírez Polo, L. Jimenez Barros, M. Castro Bolaño, L. Maldonado, E. The design of a real-time warehouse management system that integrates simulation and optimization models with RFID technology. *International Journal of Computer Science & Applications* (TIJCSA), 2013. Vol. (02) No. (04).
17. Pratik, J. Parikh, X.Z. and Bhanuteja S. Distribution planning considering warehousing decisions. Access mode: веб-сайт. URL: <https://www.mhi.org/downloads/learning/cicmhe/colloquium/2010/parikh.pdf> (дата звернення: 12.10.2023).
18. Стеценко І.В. Моделювання систем: навчальний посібник. Черкаси: ЧДТУ, 2010. 399 с.
19. Маценко В. Г. Математичне моделювання: навчальний посібник, Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014. 519 с.
20. Швиданенко, Г. О. Формування бізнес-моделі підприємства: навчальний посібник. К.: КНЕУ, 2016. 423 с.
21. Пермяков О.Ю. Основи моделювання бойових дій військ: Підручник. – Київ: НАОУ, 2005. 484 с.
22. Murata T. Petri nets: Properties, Analysis and Applications // *Proceedings of the IEEE*. – April. 1989. Vol.77, No.44. – P. 541-580.
23. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1989. 264 с.
24. Котов В.Е. Сети Петри. - М. : Наука, 1989. 158 с.
25. Зайцев Д.А. Инварианты временных
- 2016.
15. Holoborodko M.Yu. Biletov V.I., Galagan V.I., Panadiy K.V., Bondarchuk S.V. (2014). Formalized model of material support of troops (forces). *Collection of scientific works of the Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky*, 2014. No. 1 (50). P. 48–53.
16. Ramírez Ríos, D. Ramírez Polo, L. Jimenez Barros, M. Castro Bolaño, L. Maldonado, E. The design of a real-time warehouse management system that integrates simulation and optimization models with RFID technology. *International Journal of Computer Science & Applications* (TIJCSA), 2013. Vol. (02) No. (04).
17. Pratik, J. Parikh, X.Z. and Bhanuteja S. Distribution planning considering warehousing decisions. Access mode: website. Available from: <https://www.mhi.org/downloads/learning/cicmhe/colloquium/2010/parikh.pdf> (access date: 10/12/2023).
18. Stetsenko I.V. Modeling of systems: a study guide. Cherkasy: ChDTU, 2010. 399 p.
19. Matsenko V.G. Mathematical modeling: a textbook, Chernivtsi: Chernivtsi National University, 2014. 519 с.
20. Shvydanenko, G.O. Formation of a business model of an enterprise: a study guide. Kyiv: KNEU, 2016. 423 p.
21. Permyakov O. Yu. Basics of military simulation: Textbook. – Kyiv: NАОU, 2005. 484 p.
22. Murata T. Petri nets: Properties, Analysis and Applications // *Proceedings of the IEEE*. – April. 1989. Vol.77, No.44. P. 541-580.
23. Peterson J. Theory of Petra networks and modeling of systems. – Moscow: Mir, 1989. 264 p.
24. Kotov V.E. Sety Petra. – Moscow: Nauka, 1989. 158 p.
25. Zaitsev D.A. Invariants of Petra temporal networks. *Cybernetics and system analysis*, 2004. P.92-106.

- сетей Петри. Кибернетика и системный анализ, 2004. С.92-106.
26. Мова програмування Java та середовище NetBeans. Веб-сайт. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=6lquyZ36oKAC> (дата звернення 11.10.2023).
27. Haas P. J. Stochastic Petri nets : modelling, stability, simulation / Peter J. Haas — Springer series in operations research, 2002. 529p.
26. Java programming language and NetBeans environment. Website. Available from : <https://books.google.com.ua/books?id=6lquyZ36oKAC> (access date 11.10.2023).
27. Haas P.J. Stochastic Petri nets: modeling, stability, simulation / Peter J. Haas — Springer series in operations research, 2002. 529p.